DOI:10.11931/guihaia.gxzw201801008

绿色废弃物资源化利用促进绿色农业循环发展

张玉山*，梁伟杰，杨森，陈文杰，陈海莲，梁怀宇，李树胜，刘文利，沈志华

（电子科技大学中山学院 材料与食品学院,广东 中山 528402）

摘 要: 绿色废弃物资源化循环利用对树立环保理念，引领人们积极参与绿化垃圾收集、分类，提高农业绿色可持续发展和生态保护及实施“沃土工程”具有重要意义。本研究利用校园绿化产生的绿色废弃物，采用条垛发酵技术进行堆肥发酵，制成有机覆盖物和土壤改良剂。对土壤改良剂物理性质（容重、总空隙度、持水空隙、pH 值、EC 值等指标）和营养含量及土壤改良剂浸提液发芽率进行测定。随后将土壤改良剂应用到校园试验田中进行土壤改良，并通过测定土壤改良前后大田土壤物理性质和营养含量及凤仙花和油菜生长状况对土壤改良剂进行效果评估；同时，将有机覆盖物分别应用在校园树穴、校园裸土表面和花坛中进行示范，调查处理样方四个季节杂草含量及杂草抑制率进行有机覆盖物效果评价。结果表明，油菜在改良土壤中长势优于对照，土壤改良剂对土壤板结和土壤可耕性具有较好的改良效果。生长在土壤改良剂基质中的凤仙花长势不如购买基质，表明土壤改良剂不适合直接作为营养栽培基质；有机覆盖物应用在校园树穴、校园裸土表面和花坛中，对杂草具有显著抑制作用并具有很好的景观效果。文中对堆肥关键技术和目前绿色废弃物资源化存在的问题也进行了讨论。

关键词: 绿色废弃物，土壤改良剂，有机覆盖物，堆肥，发酵

中图分类号:　　　文献标识码：A

Recycling utilization of green wastes promotes the sustainable development of green agriculture

ZHANG Yushan, LIANG Weijie, YANG Sen, CHEN Wenjie, CHEN Hailian, LIANG Huaiyu, LI Shusheng, LIU Wenli, SHEN Zhihua

(*College of Materials and Food, University of Electronic Science and Technology of China*, *Zhongshan Institute*, Zhongshan 528402, Guangdong, China)[1]

Abstract: The recycling utilization of green wastes has great significance for establishing the concept of environmental protection, leading people to actively participate in collection and classification of green wastes, promoting green wastes recycling and ecological protection as well as strategy of green

[1]**基金项目：**2016 年广东省本科高校质量工程建设项目[粤教高函(2016)233 号];广东省中山市社会公益重大专项“中山市园林绿化废弃物资源化循环利用模式示范”（2017B1021）；“攀登计划”广东大学生科技创新培育专项资金（PDJH2017B0909）[Supported by Quality Engineering Construction Project of Guangdong Undergraduate College in 2016 [Guangdong Higher Education Document (2016) No.233, S-JZG201601]; Guangdong Zhongshan Social Public Welfare Special Fund “Zhongshan Garden Greening Wastes Recycling Utilization and Demonstration” (2017B1021); “Climbing Plan”, the Breeding Special Fund of Guangdong University Student Science and Technology Innovation (PDJH2017B0909)]。

***通信作者：**张玉山（1966－），男，黑龙江省密山市人，博士，副教授，研究方向为生物技术，（E-mail）class2007ok@163.com。

sustainable development. In this study, the green wastes from campus greening were used for making organic mulch and soil amendment by composting technology. Physical properties (bulk density, total porosity, water holding porosity, pH value and EC value) of soil amendment, soil nutrient content as well as the germination rate of extract of soil amendment were measured. Then the soil amendment was applied into the campus experimental soil for soil improvement. The effects of soil amendment were evaluated by determinating physical properties and nutrient content of soil field as well as growth of impatiens and rapeseed grown in the improved soil. Organic mulch effect was evaluated by investigating weed content and the weeds inhibition rate of four plots in the four seasons. The results showed that the growth of rapeseed grown in improved soil was better than that in the control. Soil amendment had better improvement effect on hardening soil and soil arability. The growth of the impatiens grown in the soil amendment matrix was inferior to that in the control matrix, which indicates that the soil amendment is not suitable for nutritional growth media. The organic mulch applied on campus has significant suppression effects of weed and dust as well as good landscape effect. The key technologies of compost and the existing problems of green waste utilization were also discussed in this paper.

Key words: green wastes, soil amendment, organic mulch, compost, fermentation

随着我国城市园林建设规模扩大和推进，每年将产生大量的园林绿化废弃物如树枝、草屑和树叶以及秋季落叶枯枝等；另外，一些城市地处沿海地区，每年受到台风较大的影响，会有大量树木因台风影响折断倾倒，如 2017 年受台风“天鸽”影响，中山市产生大量树木和树干。这些途径产生的绿化废弃物如不能妥善处理，相当一部分绿化废弃物将变成生活垃圾的一部分。这不仅增加了生活垃圾量，还浪费了资源。绿化废弃物已经成为继生活垃圾后的又一大种类垃圾。绿化废弃物的主要成分为纤维素、多糖和木质素等，基本是可降解的有机物，同其他生活垃圾和城市固态废物比，其原料污染少、不含重金属等有毒有害物质，适当处理完全可以资源化。另一方面，由于对土壤掠夺式的利用和大量使用化肥导致农田土壤越来越贫瘠，每年亟需大量有机肥和土壤改良剂对土壤进行改良和修复。我国十八大已经吹响了保护生态环境和实施绿色可持续发展战略的战略号角，如何推进绿化废弃物资源化利用和促进农业绿色可持续发展，已成为一个亟待解决的战略性问题。

借鉴发达国家做法，堆肥处理是目前发达国家绿色废物资源化应用较多的一种做法。美国、日本、澳大利亚、德国等国家，“枯枝落叶化春泥”的循环模式已成规模。很多国家规定，政府部门必须优先购买符合条件的再生土，以支持环保项目。这些国家在园林废弃物收集利用方面已经有了很好的积累，有许多经验值得我们学习（Dominic et al, 2002；Australian Standard, 2003）。美国在 1976 年颁发实施《资源保护和回收法》，1994 年环境保护署颁布了园林绿化废弃

物堆肥法则，对绿化废弃物收集、分类、堆肥和后加工工艺程序、相关法令和标准都有严格规定。1991年日本政府颁发了“废弃物处理法”，体现出废弃物处理以“等级化”原则，即减量化、再利用、资源化等（杭正芳和周民良，2010）。

美国在绿化废弃物资源化方面做得非常出色。首先对绿色废弃物进行分类，随后利用堆肥技术生产土壤改良剂，用于城市绿化用土和土壤改良；同时生产有机覆盖物，进行地面直接覆盖（周肖红，2009）。绿化废弃物堆肥是指将绿地中产生的树枝、落叶、草末等废弃物经过一定的处理和混合配比，在适合的条件下经过有氧发酵，加工生产有机覆盖物和有机肥料及土壤改良剂的过程，达到无害化(无杂草、寄生虫等)、减量化、资源利用的目的（周肖红, 2009）。有机覆盖物（mulch）是一种新型生态环保地表覆盖材料，具有生态、环保、节能及改善植物生存环境的作用。其加工过程包括：材料筛选、物理研磨、生物发酵等几大步骤。将绿色废弃物物理粉碎加工，再通过长达6个月的发酵工艺，运用先进检测技术，期间经过2次对产品的抽样检测，最终形成稳定、高性能的绿色环保有机覆盖物（周艳平和王星，2013）。有机覆盖物以其独特的生态优势已经广泛应用于“节约型园林”中（杨艳，2017）。

相比西方发达国家，我国在园林绿化废弃物资源化方面起步较晚，北京市于2010年6月出台了《北京市园林绿化废弃物资源化发展规划》，分别在朝阳、西城、丰台、顺义都建有绿化废弃物集中消纳基地，在香山公园、朝阳区绿源公园、翠湖饭店等地也建立了就近绿色垃圾消纳基地（孙向阳等，2012）。目前，广州市园林科学研究所利用园林绿化废弃物堆肥基质形成了土壤改良剂、营养基质和有机肥三大系列产品，被广泛应用到天桥、市政道路、屋顶绿化及高速公路坡面绿化，产生了良好的生态效益、环境效益和经济效益（张俊涛等，2012）。上海迪斯尼于2016年6月16日正式对外开放，作为绿化施工过程中最后一道工序，绿地中有机覆盖物的全面铺设引导了绿化行业的新风向（王星和沈志平，2016）。

尽管国内有些二、三线城市也有报道园林绿色废弃物资源化利用，由于人们思想、观念滞后和经费短缺等原因，国内除了一线城市对绿化废弃物资源化进行一定研究外，总的说来，国内大多数二、三线城市如中山市园林绿化废弃物再利用基本属于空白。

本研究以电子科技大学中山学院校园绿化废弃物为原料，通过条垛堆肥腐熟后制成土壤改良剂和有机覆盖物，并在校园进行应用示范，旨在从大学生做起，树立环保理念，重视绿色废弃物在生态循环中的作用，引领人们积极参与绿化垃圾收集、分类，积极推进绿色废弃物资源化，促进绿色农业循环发展，为建设山清水秀的“美丽中国”而努力。

1 材料方法

1.1 工具和菌剂、辅料

13 HP的柴油动力的树枝粉碎机、3 KW 220 V电动力秸秆青草粉碎机、7.5 HP汽油动力微耕机、链式电动锯、台式电锯、插入式数显温度计、电导率计和pH仪、摇床振荡器。金宝贝基质营养

土发酵助剂（11^{01}）（北京华夏康源科技有限公司）、金宝贝 II 型树皮发酵助剂（11^{03}）（北京华夏康源科技有限公司）、米糠、尿素、购买基质（对照基质）等。

1.2 绿色废弃物收集

收集校园内绿化维护过程中产生的树叶树枝、草坪修剪中产生的草屑及每天过道清扫过程中产生的枯枝落叶等，堆放在校园试验田。

1.3 绿色废弃物预处理

首先对绿色废弃物进行分类，分离出比较粗的树木枝干和细小枝条和落叶。对于收集到的落叶，首先分拣除去生活垃圾如塑料袋、饮料瓶、餐巾纸、铁丝、铁钉、石头、电池等不易分解及有毒有害物质。对于比较粗的带树枝茎干，利用电锯首先分离出树枝和树干，对于树干我们先利用台锯进行破碎，锯成木片和板条。

1.4 树叶和草屑粉碎及枝条和木片板条粉碎

对于分拣好的树叶和草屑，使用电动秸秆青草粉碎机进行粉碎，粉碎颗粒大小为直径为 1~4 cm。对于枝条和木片板条，利用树枝粉碎机进行粉碎，树枝粉碎机粉碎颗粒直径为 3~5 cm。

1.5 树叶草屑堆肥发酵方法

首先将枯叶和草屑混合均匀，体积至少达到 12 m^2。将 3 kg 尿素兑 200 kg 水，完全溶解后制成尿素溶液，均匀洒在枯叶草屑堆中，保持湿度在 60%~70%，自然放置 24 h。将 2 kg 金宝贝基质营养土发酵助剂与 5 kg 米糠混拌均匀，制成金宝贝发酵剂混合物，分层均匀撒在枯叶草屑中，每 20 cm 厚的枯叶草屑撒一层金宝贝发酵剂混合物，边撒边翻。全部混合均匀后，起堆堆成长 3 m、宽 2.5 m、高 1.5 m 的梯形棱台，上面覆盖青草，在避光、遮雨的棚中进行堆肥发酵。使用插入式数显温度计对堆体中部（0.8 m）进行温度测定，当堆体温度达到 55-60 ºC 时及时翻堆。发酵完成后，取腐熟发酵物料过筛（1 cm×1 cm）制成土壤改良剂，明显没有腐熟的物料进行二次发酵。

1.6 树枝木片堆肥发酵方法

树枝木片发酵方法类似树叶草屑堆肥发酵方法。即将树枝木片粉碎后，木材粉碎物体积至少达到 10 m^3。将木材粉碎物充分浇水后，闷堆 3 d，使含水量达到 50%左右。将 2 kg 尿素兑 200 kg 水，完成溶解后制成尿素水，均匀洒在枯叶草屑堆中，使发酵物总水分达到 60%~65%左右，自然放置 24 h。将 2 kg 金宝贝 II 型树皮发酵助剂与 10 kg 米糠混拌均匀，制成树皮发酵剂混合物干料，均匀撒在木材粉碎物中，边撒边翻。堆成圆锥形，底部直径至少 3 m，高度 1.5 m。在遮雨的棚中进行堆肥发酵。用插入式数显温度计对堆体中部（0.7 m）进行温度测定，温度达到 55~60ºC 时及时翻堆。发酵完成后，腐熟物料即成为有机覆盖物，未腐熟物料进行二次发酵。

1.7 土壤改良剂及试验土壤 EC 值和 pH 值测定及发芽实验

取新鲜树叶草屑混合物、土壤改良剂和试验田土壤各 100 g，在恒温鼓风干燥箱 80 ºC 烘 24 h 后取出，各称量 5 g，分别加 25 ml 屈臣氏蒸馏水浸泡 24 h，放在振荡仪中振荡 30 min 后，抽滤获得对照浸提液（未发酵树叶草屑）、土壤改良剂浸提液和试验田土壤浸提液。使用电导率计和 pH 仪分别测定浸提液 EC 值和 pH 值。同时，将 10 粒白菜种子，分别吸取 5 ml 土壤改良剂浸提液和蒸馏水于培养皿中，以蒸馏水为对照，第 7 d 测定发芽率和根长，重复 5 次。

1.8 杂草量、杂草覆盖度和杂草抑制率测定

春季在试验田应用有机覆盖物处理后，分别在春、夏、秋和第二年春季，对处理区进行杂草生长量和杂草抑制率调查。收割处理区和对照区杂草，天平称量鲜重。随机取 1 m^2 的处理样方和对照，调查杂草生长量。对照为未应用有机覆盖物的小区，重复 3 次。杂草覆盖度=处理小区杂草量/对照杂草量，杂草抑制率=（1-杂草覆盖度）×100%。

1.9 改良土壤和土壤改良剂物理指标测定

分别在土壤改良剂应用前、后在试验田随机选择 5 个点，每个点取耕作层 20 cm 左右环刀土样 2 个，共计 10 个环刀样品。随后带回实验室烘干、混合均匀后，土壤容重、空隙度、持水空隙度等物理指标采用常规环刀法进行测定。即混合烘干基质或土壤，加满体积为 200 ml 环刀（环刀重 W_0 g）中，称重（W_1 g），然后完全浸泡水中 24 h，称重（W_2 g），将烧杯水分自由沥干后称重（W_3 g），最后将基质或土壤放入烘箱烘至恒重（W_4 g）。按照以下公式计算：干容重（$g.cm^{-3}$）=(W_4- W_0)/200；总空隙度（%）=100×(W_2- W_4)/200；通气隙度（%）=100×(W_2- W_3)/200；持水空隙度（%）=总空隙度-通气空隙度。使用电导率计和 pH 仪分别测定土样浸提液 EC 值和 pH 值。混合烘干基质或土壤，与蒸馏水采用固液比为 1:10 (W/V)比例混合，振荡 30 min 后离心过滤，使用电导率计和 pH 仪分别测定 EC 值和 pH 值。土壤改良剂和对照基质物理指标测定方法同土样测定方法。每指标重复 4 次。

1.10 改良土壤和土壤改良剂全营养元素含量测定

土壤改良剂基质和改良土样及对照烘干、混合后，采用 H_2SO_4-H_2O_2 消煮，应用凯氏定氮法对消煮液全氮进行测定；碱解氮采用碱解扩散法测定（鲍士旦，2008）；全钾和速效钾应用火焰光度计测定（鲍士旦，2008）。全磷应用钼锑抗比色法测定；速效磷采用碳酸氢钠-钼锑抗比色法测定。

1.11 生长在改良土壤中的油菜和生长在土壤改良剂基质中的凤仙花性状考察

将 200 kg 土壤改良剂均匀撒入 50 m^2 试验田表面，使用农用微耕机翻入土壤后，春季播种油菜种子，进行常规田间管理。50 天后随机选择 10 株油菜，分别测量油菜株高、叶片数量、茎粗后，收获油菜称量鲜重。对照为未加土壤改良剂的大田土壤。同时，将土壤改良剂和对照基质分别装入两个泡沫盒（1 m×0.5 m×0.5 m），深度 30 cm。分别播种 10 粒凤仙花种子，参照常规基质育苗进行田间管理，40 天后计算发芽率、测量凤仙花株高和叶片数目。

1.12 数据分析

用Excel软件完成全部数据处理。用单因素方差分析（ANOVA）对相关数据进行差异显著性检测。当组间差异显著时使用多重比较确定差异显著性，并用字母标记法进行显著性标记。

2 结果和分析

2.1 土壤改良剂堆肥前后物理性质变化

利用插入式数显温度计测定堆体中部温度，树叶草屑在堆肥第 6 d，温度从 28 ºC 已升至 59 ºC。此时进行翻堆一次，并加入适量水分，重新起堆。堆肥第 16 d，堆体温度升至 57 ºC，此时再翻堆一次，并加入适量水分，重新起堆。以后每隔 7 d 测一次温度，堆肥第 26 d 温度最高达到 55 ºC，以后温度缓慢下降，至堆肥第 45 d 温度稳定到 30 ºC 左右，此时发酵基本完成。将物料摊开，让水分迅速蒸发。随后使用沙网筛进行过筛，得到颗粒大小均匀的腐熟物料即土壤改良剂。此时的土壤改良剂颜色深褐色，无异味，略带有泥土腐熟味道，如图 1 所示。

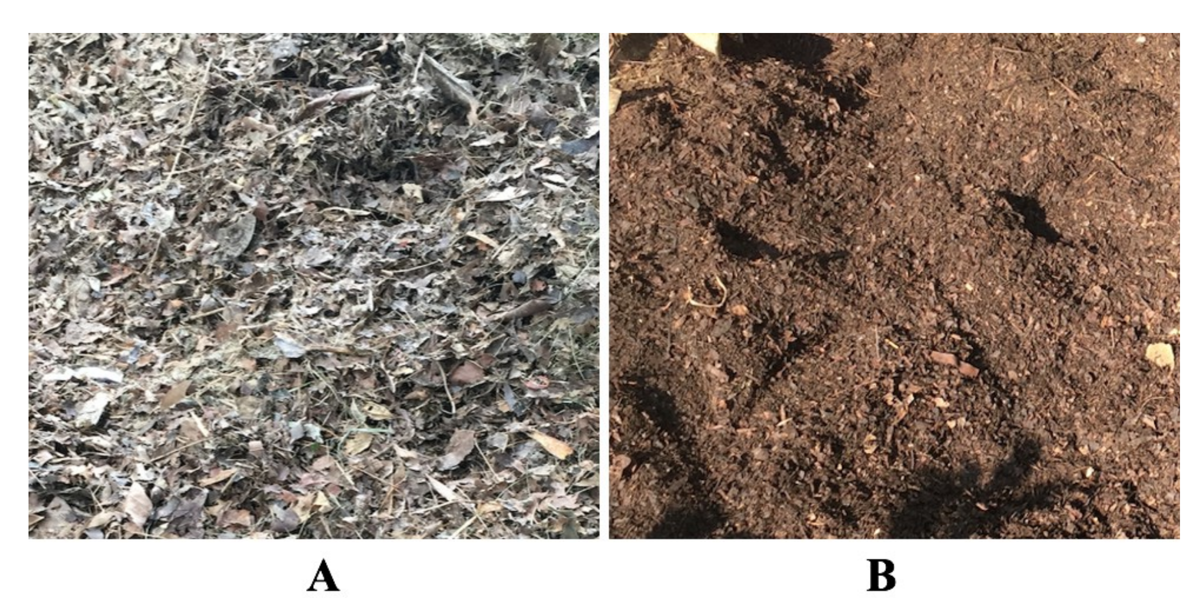


图 1 堆肥前、后土壤改良剂外观　A. 堆肥前树叶草屑外观；B. 堆肥后树叶草屑外观。
Fig. 1 Appearances of grass and leaves before and after compost A. Appearances of grass and leaves before compost; B. Appearances of grass and leaves after compost.

另外，从表 1 可以看出发酵前后物料 EC 值和 pH 值。发酵样品 pH 值高于未发酵样品，其 pH 值分别为 8.13 和 7.91，二者达到显著差异；而发酵样品 EC 值显著低于未发酵样品。

表 1 土壤改良剂堆肥前后样品的 pH 值和 EC 值
Table 1 pH and EC values of soil amendment before and after compost

参数 Parameter	堆肥后产品 Product after compost	堆肥前样品 Sample before compost
pH 值 pH values	8.13±0.05A	7.91±0.04 B
EC 值(μs.cm^{-1})	3662.5±143.1A	4066.7±128.9B

EC values

注: 每个参数重复 5 次, A 和 B 表示与对照组差异极显著（P<0.01）。
Note: Data are mean of n=5, A and B indicated that the very significant difference between the control (P<0.01).

2.2 改良后土壤和土壤改良剂物理性质对比

将本实验制成的土壤改良剂应用到大田进行土壤改良，改良土壤与对照（未改良土壤）在一些物理性质上存在显著差别，如表 2 所示。改良土壤容重（0.524）显著低于对照容重（1.053），但改良土壤持水空隙（57.47）显著高于对照持水空隙（52.42）；改良土壤和对照在总空隙度和通气隙度方面没有显著差异；改良土壤 pH 值略高于对照 pH 值；改良土壤 EC 值显著高于对照土壤。即改良后土壤变得疏松、保墒性更好、离子含量更高。

本实验制成的土壤改良剂与对照基质（购买基质）在物理性质方面具有显著差异。如表 2 所示，土壤改良剂的容重和持水空隙显著低于对照基质；而土壤改良剂总空隙度、通气隙度 pH 值和 EC 值均显著高于对照基质。即土壤改良剂比对照基质轻、偏碱性、离子含量更高。

表 2 在土壤改良剂和改良土壤物理性质比对
Table 2 Comparisons of physical properties of soil improvement and improved soil

检测指标 Parameter	对照土壤 Control soil	改良土壤 Improved soil	对照基质 Commercial matrix	土壤改良剂 Soil improvement
容重（$g\cdot cm^{-3}$）Bulk density	1.053±0.002a	0.524±0b	0.195±0c	0.130±0d
总空隙度（%）Total porosity	87.47±10.84bc	88.85±0.84b	84.75±0.23c	92.30±1.07a
通气隙度（%）Aerate porosity	31.33±2.56b	29.77±0.78b	11.92±1.83c	42.25±3.17a
持水孔隙（%）Water-holding porosity	52.42±12.44c	57.47±1.56b	69.97±0.62a	46.68±7.64d
pH 值 pH values	7.33±0c	7.52±0b	5.71±0.01d	8.13±0a
EC 值（$\mu s.cm^{-1}$）EC values	9.20×10^{2}±0d	1.14×10^{3}±0c	2.54×10^{3}±0b	3.66×10^{3}±0a

注: 每个参数重复 4 次。
Note: Data are mean of n=4.

2.3 土壤改良剂和改良土壤营养含量对比

从土壤改良剂和对照基质营养含量方面看，如表 3 所示，尽管土壤改良剂的全钾含量、全 P 含量与对照基质没有显著差异，甚至土壤改良剂全 N 含量显著高于对照基质。但土壤改良剂的速效钾含量、有效 P 和水解 N 含量均显著低于对照基质。从表 3 也可看出，改良土壤的有效 P 含量（2.24 $mg.kg^{-1}$）显著高于对照土壤（1.60 $mg.kg^{-1}$），改良土壤的水解 N 含量与对照土壤

无显著差异，改良土壤的速效钾含量（125.77 mg.kg^{-1}）显著低于对照土壤（135.23 mg.kg^{-1}）。当土壤改良剂全P、有效P含量高于对照土壤时，改良土壤的全P、有效P含量也高于对照土壤；同样，土壤改良剂的全N、碱解N含量高于对照土壤时，改良土壤的全N、碱解N含量也高于对照土壤（尽管碱解N含量在改良土壤和对照间差异不显著）；相反，土壤改良剂速效K含量低于对照土壤时，改良土壤速效K含量也低于对照土壤，土壤改良剂全K含量与对照土壤差异不显著时，改良土壤全K含量与对照土壤差异也不显著。即当土壤改良剂某种养分含量高于大田土壤时，土壤改良剂养分含量与改良后土壤该养分含量具有一致性。

表3 土壤改良剂和改良土壤营养含量对比

Table 3 The nutrient contents of soil improvement and improved soil

参数 Parameter	土壤改良剂 Soil improvement	对照基质 Commercial matrix	对照土壤 Control soil	改良土壤 Improved soil
全钾 (g.kg^{-1}) Total potassium	18.51±0.19	17.73±0.20	18.56±0	18.18±0.14
速效钾 (mg.kg^{-1}) Available K	102.16±1.37d	107.94±1.66c	135.23±6.03a	125.77±5.94b
全P ((g.kg^{-1}) Total P	0.14±0a	0.13±0a	0.07±0c	0.09±0b
有效P (mg.kg^{-1}) Effective P	2.94±0.01b	3.40±0.02a	1.60±0.01d	2.24±0.04c
全N (%) Total N	0.25±0a	0.17±0b	0.11±0d	0.16±0c
水解N (mg.kg^{-1}) Effective N	161.58±62.61b	199.02±69.12a	134.97±159.97c	137.12±119.70c

注: 每个参数重复4次。

Note: Data are mean of *n*=4.

2.4 堆肥前后有机覆盖物物理变化

树枝、木片经树枝粉碎机粉碎，制成一定大小的木材粉碎物（5 cm×5 cm×1 cm），木材粉碎物堆体中部温度第3 d从28ºC升至60ºC。在第4 d进行翻堆一次，并加入适量水分，重新起堆。第7 d堆体中部温度达到58ºC又翻堆一次，第11 d堆体中部温度达到58ºC又翻堆一次。第17 d堆体中部温度升至60ºC，以后温度逐步下降，第30 d堆体中部温度仍为60ºC，以后适当补充水分，减少翻堆次数。6个月后堆体中部温度降至28ºC左右。此时木材发酵基本完成。随后，将堆体摊开，取腐熟物料平铺为10 cm左右厚度，晾干，即制成有机覆盖物。发酵后的有机覆盖物颜色变深黑色，略带有泥土腐熟味道。如图2所示。



图 2 堆肥前后有机覆盖物颜色对比 A. 发酵后；B. 发酵前。
Fig. 2 Color contrast of organic mulch before and after compost A. After compost; B. Before compost.

2.5 土壤改良剂浸提液发芽实验和其育苗实验

土壤改良剂浸提液幼苗发芽生长情况见表 4。从表 4 中可以看出，土壤改良剂浸提液和蒸馏水的发芽率分别为 93.3%和 96.7%，白菜幼苗根长分别为 4.96 mm 和 5.05 mm，发芽率和幼苗根长均没有显著差别，表明土壤改良剂没有对幼苗产生显著抑制作用。

表 4 在土壤改良剂浸提液和蒸馏水浸种的白菜种子发芽率及幼苗根长
Table 4 Seed germination rate and seedling root length of Chinese cabbage seed soaked in leaching solution of soil amendment and distilled water

参数 Parameter	浸提液 Filtered extract	蒸馏水（CK） Distilled water
发芽率 (%) Germination percentage	93.3%±0.003	96.7%±0.003
根长 (mm) Root length	4.96±0.32	5.05±0.34

注: 每个参数重复 10 次。
Note: Data are mean of *n*=10.

分别将 10 粒凤仙花种子播种于土壤改良剂和对照基质中，一个月后幼苗生长情况差异显著。从图 3 可以看出，在土壤改良剂中，幼苗生长瘦小。幼苗发芽率只有 80%，株高平均 4.5 cm，叶片数平均为 4 片，叶色偏黄；而在对照基质中，幼苗长势茁壮。幼苗发芽率 100%，株高平均 8.7 cm，叶片数平均为 5.5 片，叶色正常。表明单纯土壤改良剂不适合作为园林育苗的营养基质。



图 3 播种在土壤改良剂和对照基质中的凤仙花生长情况 A.土壤改良剂; B.对照基质。

Fig. 3 The growth of Impatiens grown in soil amendment and commercial matrix. A. Soil amendment; B. Commercial matrix.

2.6 改良土壤油菜生长情况

将土壤改良剂直接施入板结的红壤中，利用微耕机翻入土壤混合均匀。土壤颜色变深。改良后土壤容重（0.524）显著低于对照土壤容重（1.053），板结土壤变得疏松，如图 4 所示。从表 5 可以看出，生长在改良土壤中的油菜除叶片数未达到显著差异外，其株高、茎粗、鲜重均显著高于对照。

表 5 分别生长在对照和改良土壤中的单株油菜农艺性状

Table 5 Agronomic traits of rapeseed grown in control and soil improved with soil amendment, respectively

土壤类型 Soil type	株高（cm） Plant height	叶片数 Number of leaves	茎粗（cm） Stem diameter	鲜重（g） Fresh weight
改良大田 Improved soil	22.3±0.7a	11.4±0.5a	2.5±0.3a	65.4±1.1a
对照 Control	21.8±0.9b	10.5±0.3a	2.4±0.2b	64.2±1.3b

注: 性状值为考察 10 株油菜平均值。

Note: Data are mean of n=10.



图 4 A 对照和土壤改良剂改良土壤的颜色及油菜生长情况 A.对照; B.改良后土壤; C.生长在对照土壤油菜; D. 生长在改良后土壤油菜。

Fig. 4 Soil color and rapeseed growth in the control and soil improved with soil amendment A. Control; B. Soil improved with soil amendment; C. Rapeseed grown in the control; D. Rapeseed grown in the improved soil.

2.7 有机覆盖物杂草抑制效果及应用示范

试验田应用有机覆盖物后，处理区杂草量和覆盖度在四个季节有显著差异。如表 6 所示，夏季杂草量和覆盖度达到最大，秋季变小。处理区杂草量尽管在夏季达到最大量（52.3g），同对照比杂草覆盖度只占 12.7%。 秋季杂草覆盖度最小，只有 9.3%。总的说来，有机覆盖物抑制杂草率在 84%以上，随着时间推移和有机覆盖物的分解，从第一年春季（96.9%）到第二年春季（84.4%）抑制杂草率变低。

表 6 应用有机覆盖物后处理和对照在四个季节的杂草量和杂草覆盖度变化

Table 6 The amount of weeds and weeds coverage of treatment and control in the four seasons after application of organic mulch

样地 Sample plot	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	第二年春 Following spring
对照杂草量（g） Amount of weeds of CK	380.5±5.3b	410.2±11.2a	232.8±7.8c	394.6±13.4b
处理杂草量（g） Amount of weeds of treatment	11.8±7.6d	52.3±10.8b	21.7±12.6c	61.7±6.4a
杂草覆盖度 (%) Weeds coverage	3.1	12.7	9.3	15.6
杂草抑制率 (%) Weed suppression rate	96.9	87.3	90.7	84.4

注: 处理和对照数据基于 3 次重复。
Note: Data are mean of *n*=3.

将有机覆盖物施用于木瓜树根部和芦荟根际周围，具有很好的抑制杂草效果（图 5）。



图 5 有机覆盖物覆盖芦荟根际周围和木瓜树根际周围抑制杂草效果 A.芦荟根际周围；B.木瓜树根际周围。
Fig. 5 Suppression weeds effect of of organic mulch covering the rhizosphere of aloe and papaya A. the rhizosphere of aloe root; B. the rhizosphere of papaya root.

将发酵后的有机覆盖物在校园的裸土、花坛和树穴等处进行应用示范。如图 6 所示，对比有机覆盖物覆盖裸土和树穴前后，覆盖后效果呈现极佳的景观效果。



图 6 有机覆盖物应用校园覆盖裸土、花坛和树穴示范景观效果 注：A.校园裸土覆盖前；B.校园裸土覆盖前；C.花坛裸土覆盖前；D.花坛裸土覆盖前；E.校园灌木覆盖前；F.校园灌木覆盖后；G.覆盖校园树穴；H.覆盖校园花坛效果。

Fig. 6 The landscape effect of organic mulch covering bare soil, flower beds and tree pits of campus Note: A. campus bare soil without organic mulch coverage; B. campus bare soil covered with organic mulch; C. campus flower bed without organic mulch coverage; D. campus flower bed covered with organic mulch; E. campus shrubs without organic mulch coverage; F. campus shrubs covered with organic mulch; G. campus tree pits covered with organic mulch; H. campus flower bed covered with organic mulch.

3 讨论和结论

3.1 有机覆盖物具有较好杂草抑制效果

一些不适合植物生长的裸土，是城市扬尘和泥浆产生的主要来源。城市树穴周围如种植花草来覆盖裸土，将会与树木争夺养分，影响树木生长，特别对一些名贵树种或古树，不宜在树穴周围种植花草；如果不断将树穴周围杂草锄掉，不仅增加绿化维护成本，又使城市裸土比例大大上升。解决城市裸土和树穴杂草生长的一个有效方法就是应用有机覆盖物。同鹅卵石、水泥砖等硬质覆盖物相比，有机覆盖物不仅能够抑制杂草扬尘，美化环境，而且能够自然降解增加土壤肥力。有机覆盖物覆盖土壤后，在土壤微生物的作用下，能够将其分解，释放其中的部分营养元素，从而提高土壤中养分的含量。阚丽艳等（2014）研究表明，裸地、马尼拉草地及灌木茶梅地表覆盖有机物处理后土壤有机质、速效磷、速效钾含量明显增加。从本研究中可以看出，有机覆盖物具有较好杂草抑制效果，在春、夏、秋三个季节杂草抑制率超过80%。但是随着时间推移，一年后杂草抑制率开始下降。针对有机覆盖物降解而导致杂草抑制率下降的情况，可以采取定期覆盖有机覆盖物的方法，提高杂草抑制率。另外，由于有机覆盖物颗粒具有一定大小，表面粗糙，相互嵌合摩擦力较大，铺设物四周再建设高过四周的挡板。这样铺设的有机覆盖物具有良好的稳固性，不会被风吹走或雨水冲刷走。这一点国外多年来的实践已经充分证明其稳固性。

3.2 土壤改良剂对土壤具有较好的改良效果

本研究表明土壤改良剂在改良大田养分含量时，其某种养分含量只有高于大田土壤时才有可能提高改良后土壤该种养分含量，反之亦然。绿色废弃物因其组成不同，养分含量可能有差异，土壤改良剂养分含量一般要高于改良前土壤养分含量才有效。因此，在制作土壤改良剂时，绿色废弃物掺入一定量有机肥，会提高土壤改良剂全营养含量。土壤改良剂施入土壤中养分释放缓慢，类似有机肥，可大幅度减少化肥使用量。许多研究证实，将堆肥产品施入土壤后能改变土壤的理化性质，增加土壤 N、P、K 含量，促进土壤团粒结构形成，使土壤蓄水保肥性、通气性和耕作性都有所改善（李慧君等，2004）。由于绿色废弃物中氮、钾、铵等离子以阳离子形态存在，而堆肥形成的腐殖质带负电荷，可以吸附阳离子。故可以减少速效养分损失，提高土壤的保肥能力（朱能武，2006）。另外，珠三角地区土壤多为红壤或黄壤（黄国勤和赵其国, 2014），质地粘重板结，营养流失严重、肥力差，呈酸性至强酸性（赵其国等，2013；孙波和赵其国, 1999）。这严重限制了红壤地区潜在生产能力的发挥, 亟需红壤改良的相关技术和物化产品（史学正和史德明, 1992；王兴祥等，2001；郑海金等，2015）。本研究制成的土壤改良剂，pH 值为 8.13，呈碱性；同时，本研究制成的土壤改良剂 EC 值很高（3662.5 μs·cm^{-1}），远远高于试验田土壤 EC 值（920.0 μs·cm^{-1}）。EC 值是基质浸提液中可溶性盐度指标，也反映基质中可溶性养分总量。本实验应用土壤改良剂后，土壤由板结变疏松、保墒性更好、离子含量更高，可以有效提高土壤肥力和可耕性。本试验中生长在改良土壤中的油菜性状优于对照也说明土壤改良剂具有较好土壤改良效果。针对珠三角地区多为红壤或黄壤的特点，本研究生产的土壤改良剂具备推广应用价值。

3.3 土壤改良剂作为栽培基质的效果

本研究表明，土壤改良剂持水孔隙度显著低于对照基质；土壤改良剂全 N、P、K 含量均不低于对照基质，然而土壤改良剂的速效 N、P、K 含量却显著低于对照基质。这很可能是由于土壤改良剂持水孔隙度显著低于对照基质，导致土壤改良剂在育苗浇水过程中大量速效养分流失造成的。这也暗示基质持水空隙度是衡量基质持水保肥的重要衡量指标。本实验中，生长在土壤改良剂基质中的凤仙花长势明显不如对照基质。这是由于土壤改良剂速效 N、P、K 含量均低于购买基质、pH 值、EC 值偏高、容重较小等因素导致的。尽管白菜种子播种在土壤改良剂浸提液中，其发芽率和白菜幼苗根长与播种在蒸馏水中没有显著差异，这只表明土壤改良剂不对幼苗产生显著抑制作用。然而，土壤改良剂浸提液 pH 值为 8.13，呈碱性。有报道理想基质 pH 值为 6.0~7.5（李静等，2000）。基质环境过酸过碱均不利于植物生长。本研究制成的土壤改良剂 EC 值远远高于作物生长理想 EC 值范围为 750~2600 μs·cm^{-1}（刘方春等, 2010）。另外，同对照基质比，本研究制成的土壤改良剂容重小，持水空隙度较小。因此，本试验制成的土壤改良剂不适合直接作为营养栽培基质。如果要制成营养栽培基质，需要与密度大的基质混合，增加基质保水性；同时添加调节剂降低 pH 值和 EC 值，使植物生长处于理想的基质 pH 值和 EC 值范围。

3.4 园林绿色废弃物堆肥化处理关键技术环节

一般说来，绿色废弃物堆肥处理关键技术环节主要包括粒径调节、水分调节、通气供养 、C/N 调节、pH 值调节等几个方面。园林废弃物粉碎颗粒越小，越有利微生物对物料进行分解，物料木质素含量越高，粉碎颗粒越小；木质比较坚硬的废弃物，颗粒应在 5~10 mm 之间。一般

在堆肥初期，堆体水分应控制在50%~60%，堆肥腐熟阶段，水分应维持在30%左右（朱能武，2006）。足够的通气供养是好氧堆肥一个前提条件。物料颗粒越小，物料越致密，必须加大通气供养，增加翻堆次数。C/N过高，会导致微生物生长过程中缺少N而抑制微生物生长。一般合适的C/N为25/1。多数微生物适合在中性或偏碱性环境中生长，因此，当堆体pH值在6~8范围内有利于微生物发酵。另外，为确保堆肥产品营养尽可能少流失，应在物料堆肥前在底部覆盖较厚的土壤和杂草混合物，以吸收发酵过程随补充水分而流失的部分养分。本实验中，由于在堆肥前没有在底部覆盖较厚土壤，导致部分养分流失。这也可以解释为什么本实验中发酵样品EC值显著低于未发酵样品。本研究中，由于校园场地小和经费短缺、缺少翻堆机等大型设备，完全依靠人力进行翻堆可能导致堆体内部供氧不充分，最终导致堆体内外物料腐熟不彻底的问题。针对未腐熟物料需要进行二次发酵。

3.5 目前我国绿色废弃物资源化实际存在的问题

随着城市绿化废弃物剧增，绿色废弃物资源化利用已关乎农业绿色循环发展的战略性问题，为世界各国关注和重视。尽管发达国家绿色废弃物处理已经成为一个完善的成熟产业，目前在我国绿色废弃物资源化理念并没有引起足够重视，缺少政策的支持；其次是缺少资金的支持；第三是缺少政府的宏观规划和切实可行的园林废弃物收集制度。由于绿化废弃物如树木枝干、枯枝落叶体积大、难以压实，也给收集运输带来了难题。另外，绿色废弃物堆放分散，大大增加收集成本，一些石头、铁丝、铁钉等杂物也混在绿色废弃物中，很容易损坏粉碎机。最后我国园林废弃物处理机械的质量和性能还有待提高。本实验中，树枝粉碎机粉碎粗一点枝干就卡机熄火，甚至还出现了发动机“烧瓦”现象。因此我们必须先借助台锯切成很薄的板条才能进行粉碎，大大增加园林废弃物处理的运行成本并降低了处理效率。同美国、德国整树粉碎机相比，我们园林废弃物处理机械装置性能和质量还有相当差距。目前，可行做法可能是先在小范围内进行绿色废弃物资源化应用示范，改变人们的理念，逐渐认识到绿化废弃物在城市绿地生态循环中的重要作用。绿色废弃物资源化是一项公益性极强的环保产业，离不开政府的扶持。政府应制订各种优惠政策将资金投向这个新兴领域，形成产业化的循环处理模式，推进绿色农业循环发展。

参考文献：

Australian Standard, 2003. AS 4454-2003 Composts, soil conditioners and mulches [S].

DOMINIC H, JOSEL B, ENZO F, et al, 2002. Comparison of compost standards within the EU, North America and Australasia [M]. Oxon, The waste and resources action programme.

BAO SD, 2008. Soil agrochemical analysis [M]. Beijing, China Agriculture Press. [鲍士旦, 2008. 土壤农化分析[M]. 北京，中国农业出版社.]

HANG ZF & ZHOU ML, 2010. Study on waste disposal mechanism in Japanese cities [J]. Urban studies, 17 (12): 106-112. [杭正芳和周民良, 2010. 日本城市废弃物处理机制研究[J]. 城市发展研究, 17(12): 106-112.]

HUANG GQ & ZHAO QG, 2014. Initial exploration of red soil ecology [J]. Acta Ecol Sin, 34 (18) : 5173-5181. [黄国勤和赵其国, 2014. 红壤生态学[J]. 生态学报, 34 (18): 5173-5181.]

KAN LY, XI XS, HE XY, et al, 2014. Effect of organic mulch on soil nutrient status in urban landscape plants [J]. J. Shanghai Jiaotong Univ (Agric Sci), 32(1):79-88. [阚丽艳, 奚霄松, 何晓颖，等，2014. 有机覆盖物对城市园林植物土壤养分状况的影响[J]. 上海交通大学学报（农业科学版）, 32(1):79-88.]

LI HJ, YIN XQ, GU SY, et al, 2004. Discussion on the improvement of soil physical properties by sludge and sludge compost [J]. Shanxi J Agric Sci, (1):29-31. [李慧君, 殷宪强, 谷胜意, 等, 2004. 污泥及污泥堆肥对改善土壤物理性质的探讨[J]. 陕西农业科学,(1):29-31.]
LI J, ZHAO XL, WEI SQ, et al, 2000. Study on the physico-chemical properties of soil-less cultural substrates of pollution-free vegetable [J]. J Southwest Agric Univ, 22(2):112-115. [李静, 赵秀兰, 魏世强, 等, 2000. 无公害蔬菜无土栽培基质理化特性研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 22(2):112-115.]
LIU FC, MA HL, MA BY, et al, 2010. Use of used mushroom cultivation medium as raw material in making seedling pots of non-woven fabric [J]. J Ecol Rural Env, 26(5): 477-481. [刘方春, 马海林, 马丙尧, 等, 2010. 菇渣用作无纺布容器育苗成型机配套基质的研究[J]. 生态与农村环境学报, 26(5): 477-481.]
SHI XZ & SHI DM,1992. The integrated utilization of red soil resources and control of soil erosion in China [J]. J Soil Water Conserv, 6 (1) :33-38. [史学正和史德明, 1992. 综合利用我国红壤资源防治水土流失[J]. 水土保持学报, 6 (1): 33-38.]
SUN B & ZHAO QG, 1999. Evaluat ion indexes and methods of soil quality concerning red soil degradation [J]. Prog Geogr, 18 (2) :118-128. [孙波和赵其国, 1999. 红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法[J]. 地理科学进展, 18 (2) :118-128.]
SUN XY, SUO LN, XU J, et al, 2012. The present situation and policy of landscape greening wastes disposal [J]. Garden, (2):12-17. [孙向阳，索琳娜，徐佳, 等，2012. 园林绿化废弃物处理的现状及政策[J]. 园林, (2):12-17.]
WANG X & SHEN ZP, 2016. Application of organic mulch in Disney Park [J]. Garden, (7): 26-30. [王星和沈志平，2016. 迪斯尼园区绿地有机覆盖物的应用[J]. 园林, (7): 26-30.]
WANG XX, ZHANG TL, LU RK, 2001. Effect of application of fertilizers on soil structure in red soil [J]. Chin J Eco-Agric, 9 (3) :70-72. [王兴祥, 张桃林, 鲁如坤, 2001. 施肥措施对红壤结构的影响[J]. 中国生态学报, 9 (3) :70-72.]
YANG Y, 2017. Application of organic mulch in “conservation oriented garden”. Sichuan Architecture, 37(1): 11-13. [杨艳, 2017. 有机覆盖物在“节约型园林”中的作用[J]. 四川建筑, 37(1): 11-13.]
ZHANG JT, CHEN Y, YE SP, 2012. Discussion on the technology of gardening waste composting [J]. Garden, (2):18-21. [张俊涛，陈莹，叶少萍, 2012. 园林绿化废弃物堆肥资源化技术探讨[J]. 园林, (2):18-21.]
ZHAO QG, HUANG GQ, MA YQ, 2013. The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures[J]. Acta Ecol Sin, 33 (24) :7615-7622. [赵其国, 黄国勤, 马艳芹, 2013.中国南方红壤生态系统面临的问题及对策[J]. 生态学报, 33 (24) :7615-7622.]
ZHENG HJ, YANG J, WANG LY, et al, 2015. Effects of different agroforestry systems on enzyme activity and microbial population of erosive red soil [J]. Chin J Soil Sci, 46 (4) :889-893. [郑海金, 杨洁, 王凌云, 等, 2015. 农林复合系统对侵蚀红壤酶活性和微生物类群特性的影响[J]. 土壤通报, 46 (4) :889-893.]
ZHOU XH, 2009. Discussion on the composting of garden wastes and the technical process[J]. Chin Garden, 25(4): 7-11. [周肖红, 2009. 绿化废弃物堆肥化处理模式和技术环节的探讨[J]. 中国园林, 25(4): 7-11.]
ZHOU YP & WANG X, 2013. Garden organic mulch, taken mulch as an example [J]. Garden, (12): 38-41. [周艳平和王星，2013. 园林有机覆盖物-以摩奇（Mulch）为例[J]. 园林, (12): 38-41.]

ZHU NW, 2006. Treatment and utilization of solid waste [M]. Beijing, Peking University press, 79-80. [朱能武, 2006. 固体废物处理与利用[M]. 北京，北京大学出版社, 79-80.]